



Analisis Kejadian Penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) berdasarkan Kondisi Iklim dan Konsentrasi PM10 di Wilayah Jakarta Barat

Incidence Analysis of an Acute Respiratory Infection due to Climate Conditions and PM10 Concentration in West Jakarta Region

Rini Hidayati^{1*}, Septina Tri Anggiani¹ dan Ikoh Maufikoh²

¹Departemen Geofisika dan Meteorologi, Gedung FMIPA, IPB, Jl. Meranti Wing 19 Lv.4 Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

²Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta

ARTICLE INFO

Article history:

Received 29 October 2016

Received in revised from 17 May 2017

Accepted 07 September 2017

doi: 10.29244/j.agromet.31.2.62-70

Keywords:

Acute Respiratory Infections

Humidity

PM10

Rainfall

Seasons

ABSTRACT

Humans have contributed to an increased of particulates concentration due to their daily life activities including from transportation, industry, infrastructure and household. One common particulate found is PM10, which affects human health such as respiratory tract disorders. Weather condition controls PM10 concentration. This research aims to analyze the weather impact on PM10 concentration associated with the occurrence of acute respiratory infections. We analysed relationship between rainfall and PM10 on day to seasonal timescale resolution. Our results show a negative correlation between rainfall and PM10. It appears that season strongly influences the correlation with high and low PM10 concentration occurred during July-August (dry season) and December-February (wet season), respectively. At daily basis, our findings revealed that minimum PM10 concentration occurred at 06.00 am, and it will increase following human activities while people are going to workplace and school. Further, we found that a combining of low humidity and high PM 10 concentration will lead to high acute respiratory infections.

PENDAHULUAN

Udara merupakan salah suatu komponen biosfer yang berfungsi sangat penting bagi makhluk hidup di permukaan bumi. Udara mengandung campuran dari beberapa gas dan partikel dengan konsentrasi yang tidak tetap. Kandungan senyawa gas dan partikel dalam udara akan selalu berubah-ubah dengan pertambahan ketinggian lapisan campuran (*mixing layer*) dari permukaan tanah (Wagner and Schäfer, 2017). Gas yang terdapat dalam udara didominasi oleh nitrogen (78%), oksigen (21%), dan gas-gas lain seperti xenon, argon, neon, karbon dioksida, helium, argon, serta kripton (1%). Selain gas-gas utama dalam udara tersebut, terdapat kandungan gas lain seperti uap air, ozon, metan, asam nitrat, karbon dioksida, dan lain-lain. Beberapa gas dan partikel atau debu pada udara dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia seperti penggunaan kendaraan bermotor (Lang et al., 2014; Reşitoğlu et al., 2015; Wang et al., 2015), aktivitas rumah tangga (Chafe et al., 2014; Liu et al., 2016; Pope et al.,

2015; Singh et al., 2014) dan kegiatan industri (Hua et al., 2016; Kumar et al., 2016; Zhang et al., 2015). Campuran gas dan partikel yang terdapat pada udara memiliki tingkat bahaya yang berbeda-beda.

Peningkatan jumlah kendaraan, kegiatan industri, dan aktivitas rumah tangga dapat meningkatkan konsentrasi debu atau partikel di udara. Partikel debu dengan konsentrasi yang tinggi dapat mempengaruhi kesehatan manusia terutama pada saluran pernapasan (Chauhan and Johnston, 2003). Salah satu penyakit akibat tingginya konsentrasi debu adalah infeksi saluran pernapasan akut (ISPA).

Partikel PM10 terdiri dari partikel kompleks berukuran 0,1 µm–10 µm, mencakup semua ukuran virus (0,1 µm–1 µm) dan bakteri (0,5 µm–5 µm) (Lai et al., 2009). PM10 merupakan salah satu oksidan pencemar yang dapat dihisap oleh saluran pernapasan (Yusnabeti et al., 2010). Konsentrasi debu di atmosfer didominasi oleh PM10. Hrdličková et al. (2008) menyebutkan bahwa faktor yang mempengaruhi konsentrasi partikel

* Corresponding author: rinihidayatigfm@gmail.com

debu (PM10) adalah suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan arah angin. Perbedaan tempat atau heterogenitas secara spasial juga berpengaruh pada konsentrasi partikel debu (PM10) (Chu et al., 2015).

Konsentrasi debu dapat menurun jika terjadi hujan, sebab hujan merupakan pencuci pencemar alami yang paling efektif yang dapat membersihkan debu dan pencemar yang ada di atmosfer (Pohan, 2004), sehingga hujan merupakan salah satu kondisi cuaca yang berpengaruh kuat terhadap konsentrasi debu (Ouyang et al., 2015; Yu et al., 2015). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis atau kajian mengenai hubungan antara curah hujan, PM10, dan kejadian ISPA. Penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis pengaruh cuaca terhadap konsentrasi debu (PM10), dan (2) mengetahui pengaruh cuaca dan PM10 terhadap kejadian penyakit infeksi saluran pernapasan akut (ISPA). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada instansi pemerintah bidang kesehatan maupun lingkungan untuk mencegah jumlah penderita ISPA akibat PM10 dan kondisi iklim sekitar.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seperangkat personal komputer atau laptop dengan pengolah data seperti software Microsoft Office 2010, Minitab 16, dan ArcGIS 10.1.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data kejadian penyakit ISPA bulanan (semua golongan umur) Kotamadya Jakarta Barat tahun 2011-2015 (Sumber: Dinkes Provinsi DKI Jakarta),
2. Data konsentrasi PM10 dan kelembaban harian Kotamadya Jakarta Barat tahun 2011-2015 (Sumber: BPLHD DKI Jakarta),
3. Data curah hujan bulanan Jakarta Barat tahun 2011-2015 (Sumber: <https://dataonline.bmkg.go.id/>).

Posedur Analisis Data

Analisis Data PM10

Data konsentrasi PM10 diperoleh dari BPLHD DKI Jakarta. Data konsentrasi PM10 berupa data harian per setengah jam selama lima tahun (2011-2015). Data konsentrasi PM10 dirata-ratakan menjadi data diurnal pada setiap bulan selama lima tahun untuk melihat pola diurnal. Selain itu, data PM10 juga dijadikan data harian untuk melihat pola musiman dan untuk melihat hubungan PM10 dengan ISPA, data PM10 dirata-ratakan setiap bulan, kemudian digunakan untuk menghitung nilai korelasi dengan ISPA.

- Rataan konsentrasi PM10 tiap jam dalam satu hari untuk satu bulan yang sama. Setiap bulan dihitung rata-rata data per jam. Jadi dalam setahun diperoleh 288 data (24 data tiap jam x 12 bulan). Perhitungan konsentrasi PM10 menggunakan Persamaan (1).

$$B_{i,j} = (\sum A_{i,j})/5 \quad (1)$$

Dimana $B_{i,j}$ adalah konsentrasi PM10 rata-rata jam ke- i dan bulan ke- j , sedangkan $A_{i,j}$ adalah nilai konsentrasi PM10 rata-rata jam ke- i untuk bulan ke- j dari tahun 2011-2015.

- Skala musim yang dianalisis adalah musim kemarau yang diwakili oleh data bulan Juni-Agustus (JJA) dan musim hujan yang diwakili oleh data bulan Desember-Februari (DJF). Perhitungan rata-rata musiman per jam menggunakan Persamaan (2).

$$C_i = (\sum B_{i,j})/3 \quad (2)$$

Dimana C_i adalah konsentrasi PM10 rata-rata musiman jam ke- i untuk musim DJF atau JJA.

- Nilai rata-rata bulanan diperoleh dengan merata-ratakan nilai konsentrasi rata-rata per jam (B_j) dalam satu bulan j . Hasil dari proses ini, hanya terdapat satu data dalam satu bulan.

Analisis Hubungan PM10, Unsur iklim dengan Kejadian ISPA

Keeratan hubungan antara kasus kejadian ISPA dengan konsentrasi PM10 dan kondisi iklim dianalisis dengan analisis korelasi pearson (Bennett et al., 2013). Koefisien korelasi pearson diperoleh dari Persamaan (3).

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

Dimana r koefisien korelasi, y_i kejadian ISPA atau PM10, x_i konsentrasi PM10 atau unsur iklim, \bar{y} rata-rata kejadian ISPA atau PM10, \bar{x} rata-rata konsentrasi PM10 atau unsur iklim.

Analisis Kondisi Iklim dan Penyakit ISPA

Analisis ini dilakukan dengan cara melihat grafik 3D *surface-plot* yang dihasilkan dari software Minitab 16. Unsur iklim yang digunakan adalah kelembaban dan curah hujan. Grafik 3D *surface-plot* yang diperoleh pada tahap ini, ditunjukkan dengan sumbu x kelembaban atau curah hujan, sumbu y adalah konsentrasi PM10, dan sumbu z adalah kasus kejadian ISPA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

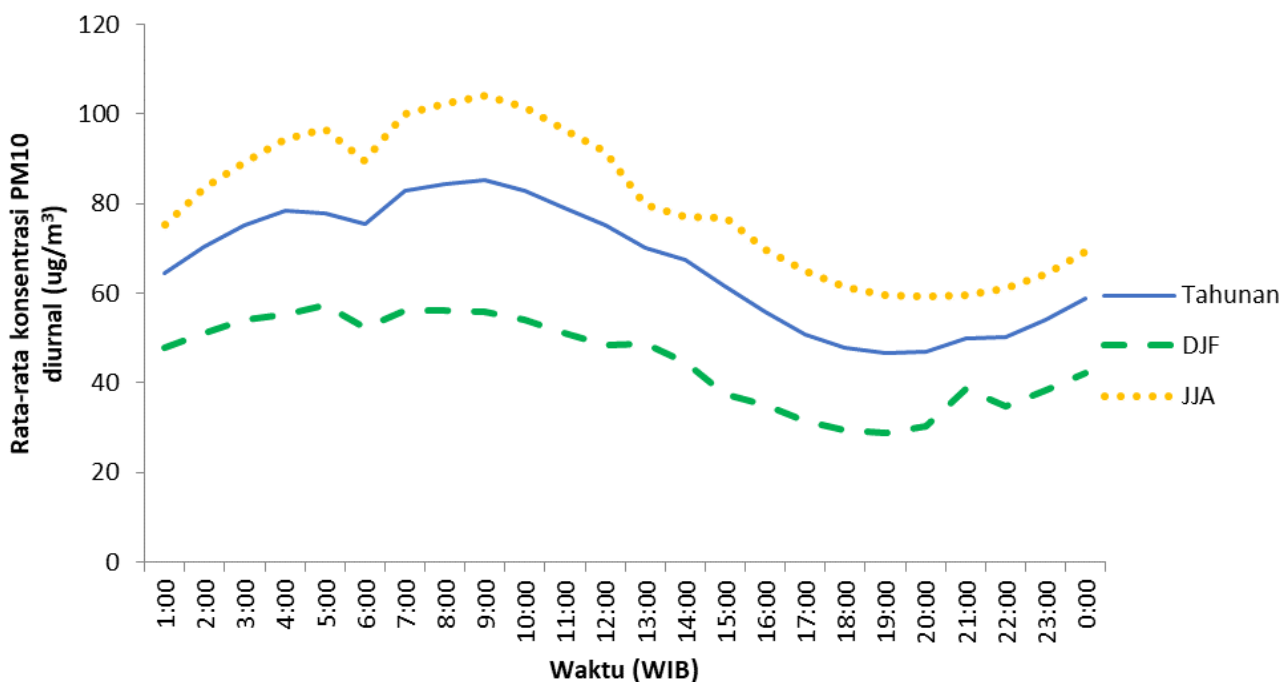
Pola diurnal konsentrasi PM10 Jakarta Barat

Berdasarkan jumlah dan kepadatan penduduk, Jakarta Barat menempati urutan kedua tertinggi setelah

Jakarta Pusat, yaitu 2.430.410 penduduk dan 18.761 jiwa/km². Bila dilihat dari pertumbuhan penduduk, Kota Jakarta Barat adalah wilayah dengan tingkat ekspansi penduduk yang paling cepat (BPS, 2015). Laju pertumbuhan penduduk yang cepat mempengaruhi peningkatan aktivitas antropogenik, seperti aktivitas industri dan transportasi. Salah satu dampak yang dihasilkan dari aktivitas tersebut adalah polusi berupa *particulate matter* (PM) yang berukuran kurang dari 10 μm . Polusi PM10 bervariasi secara temporal harian (diurnal). Pola diurnal PM10 wilayah Jakarta Barat dapat dilihat pada Gambar 1.

Pola konsentrasi diurnal PM10 di wilayah Jakarta Barat memiliki pola dengan konsentrasi tinggi yang terjadi pada akhir malam hari. Pada pukul 06.00 pagi konsentrasi PM10 mencapai nilai minimum (sekunder), setelah itu konsentrasi PM10 meningkat lagi bersamaan dengan periode keberangkatan kerja dan sekolah. Pola tersebut tidak jauh berbeda antara kondisi musim hujan (DJF), musim kemarau (JJA), dan

tahunan. Konsentrasi PM10 yang tinggi pada akhir malam disebabkan oleh suhu udara yang rendah dan kondisi udara stabil sehingga *mixing layer* tipis. Dalam kondisi ini partikel-partikel yang ada di udara terkonsentrasi di permukaan. Pada malam hingga pagi hari kondisi atmosfer cenderung stabil, sehingga polutan tidak dapat naik tetapi tetap di permukaan dan akan terakumulasi, sehingga konsentrasi partikel atau PM10 akan tinggi di dekat permukaan. Pada siang hingga sore hari biasanya kondisi atmosfer tidak stabil, *mixing layer* lebih tebal dan jauh dari permukaan, sehingga partikel-partikel yang ada di udara dapat naik secara vertikal dan jauh dari permukaan, maka pada waktu tersebut konsentrasi PM10 rendah (Sumaryati, 2011). Rataan konsentrasi PM10 yang paling tinggi terjadi saat bulan-bulan kering (JJA) yaitu 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan terendah adalah ketika bulan-bulan basah seperti Desember, Januari, dan Februari sebesar 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan untuk tahunan, rata-rata konsentrasi PM10 berada di antara kedua musim tersebut yaitu 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Gambar 1 Pola konsentrasi rata-rata diurnal PM10 tahun 2011-2015

Pola musiman konsentrasi PM10

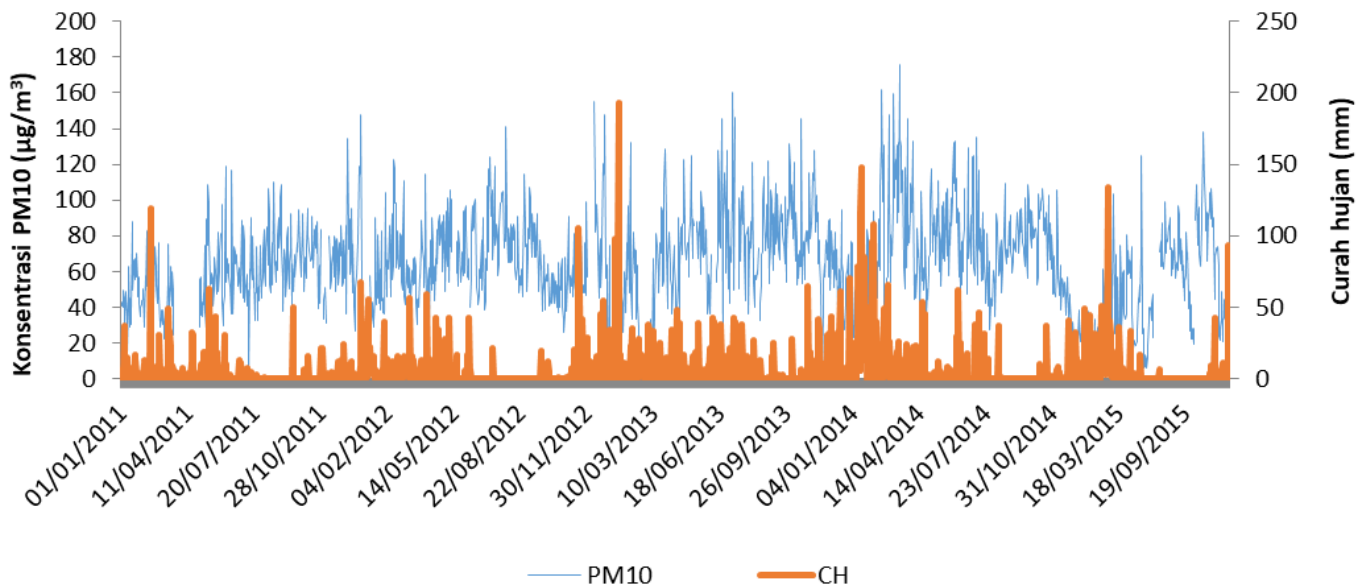
Pola curah hujan serta kasus ISPA musiman (Gambar 2) selama lima tahun (2010-2015) di wilayah Jakarta Barat menunjukkan bahwa pola jumlah kasus ISPA tercatat lebih tinggi di musim hujan dibandingkan musim kemarau. Pada tiga tahun terakhir kasus ISPA di musim kemarau mengalami peningkatan tetapi lebih rendah daripada jumlah kasus pada musim hujan. Ketika musim hujan dan kondisi rumah jarang terkena sinar matahari maka patogen penyebab ISPA akan berkembangbiak dengan baik karena berada di tempat

yang lembab. Saat musim kemarau juga tidak selalu diiringi dengan peningkatan atau penurunan jumlah kasus ISPA. Pada musim kemarau meskipun konsentrasi PM10 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan musim hujan, tetapi jumlah kasus ISPA selalu lebih sedikit dibandingkan dengan musim hujan.

Konsentrasi PM10 yang tinggi dan curah hujan rendah terjadi pada musim kemarau, yaitu pada bulan Juli hingga September, sedangkan pada bulan Januari hingga Maret (musim hujan) konsentrasi PM10

cenderung rendah. Hal ini dikarenakan hujan merupakan pencuci pencemar alami yang paling efektif yang dapat membersihkan debu dan pencemar yang

ada di atmosfer (Pohan, 2004). Variabilitas musim berpengaruh terhadap penurunan atau peningkatan konsentrasi PM₁₀ (Sukar et al., 2006).



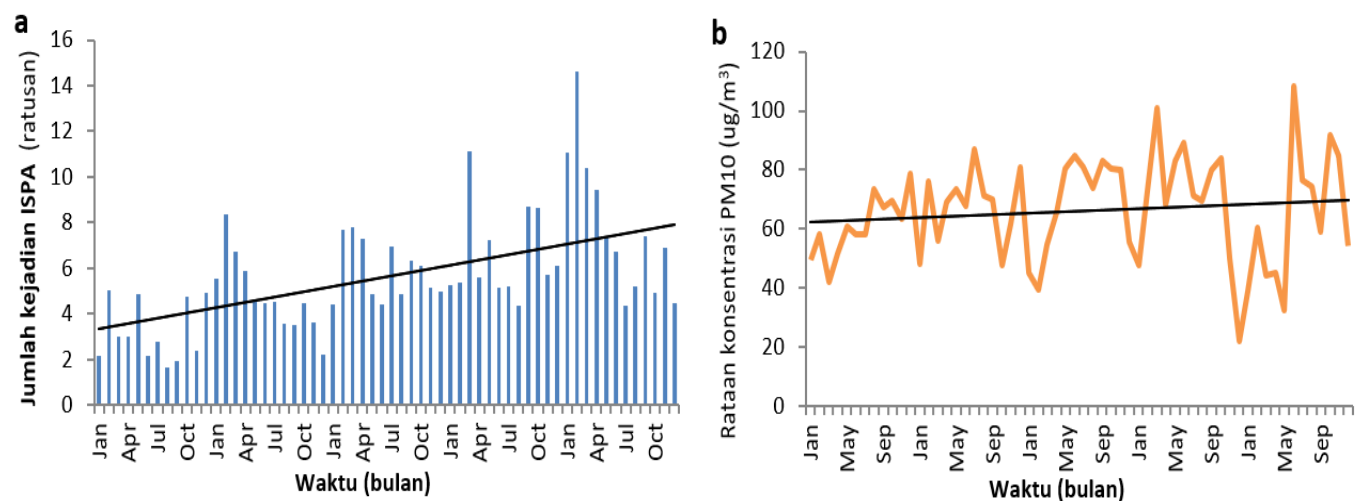
Gambar 2 Konsentrasi PM₁₀ dan curah hujan harian tahun 2011-2015

PM₁₀ dan Penyakit ISPA

PM₁₀ merupakan partikel yang berukuran kurang dari 10 µm. Ukuran yang kecil ini dapat terhisap ke dalam sistem pernapasan. PM₁₀ yang bersifat inhalable dapat masuk hingga ke paru-paru dan bertahan di dalam tubuh (de Gois et al., 2016; Huboyo and Sutrisno, 2009; Satsangi et al., 2014; Tiwari et al., 2015). Secara epidemiologi PM₁₀ dapat menyebabkan penyakit kronis seperti kanker (Hamra et al., 2014; Yun et al., 2015), bronchitis (Cai et al., 2014; Mészáros et al., 2015), hingga kematian jika terpapar dalam jangka panjang (Beelen et al., 2014; Chen et al., 2016).

Kotamadya Jakarta Barat merupakan salah satu wilayah di Jakarta dengan konsentrasi PM₁₀ yang

cukup tinggi dan dalam waktu lima tahun terakhir mengalami peningkatan (Gambar 3a). Sumber peningkatan konsentrasi PM₁₀ ini didominasi oleh emisi kendaraan bermotor, khususnya kendaraan bermesin diesel dengan bahan bakar solar (Soleiman and Tarumingkeng, 2008). Peningkatan konsentrasi PM₁₀ yang terjadi di Jakarta Barat dalam lima tahun terakhir ini berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah penderita ISPA (Gambar 3b). Jumlah penderita ISPA pada tahun 2011 sebanyak 3.852 jiwa dan setiap tahunnya bertambah sekitar 1.300 jiwa hingga tahun 2015 jumlah penderita ISPA di Jakarta Barat mencapai 9.299 jiwa.



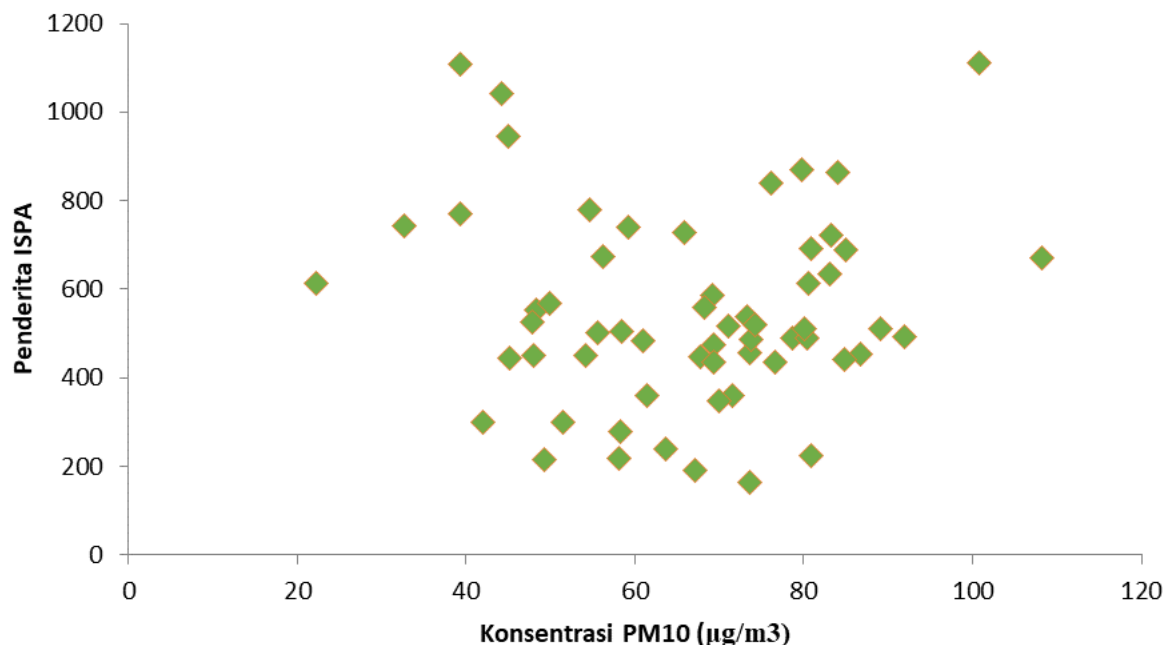
Gambar 3 Rataan bulanan kejadian ISPA (a) dan konsentrasi PM₁₀ (b) tahun 2011-2015

Kejadian ISPA dengan konsentrasi PM10 berdasarkan hasil *scatterplot* (Gambar 4) menunjukkan pola yang secara umum ISPA meningkat dengan meningkatnya konsentrasi PM10. Gambar tersebut juga menunjukkan pada konsentrasi PM10 rendah, jumlah penderita ISPA juga tinggi. Konsentrasi PM10 tinggi yang disertai dengan ISPA tinggi biasa terjadi pada musim kemarau dengan curah hujan rendah, sebaliknya konsentrasi PM10 rendah biasa terjadi saat musim hujan dengan curah hujan tinggi, pada kondisi ini kasus ISPA juga tinggi. Pada kondisi curah hujan tinggi, radiasi matahari rendah, sehingga virus dan bakteri penyebab ISPA dapat leluasa berkembang biak. Ketika musim hujan, suhu minimum lebih rendah dan berkorelasi kuat dengan meningkatnya kejadian ISPA. Pada suhu rendah, keberadaan virus lebih stabil, dan pada umumnya aktivitas banyak dikerjakan di dalam rumah, sehingga pada kondisi ini potensi kejadian ISPA meningkat (Vandini et al., 2013). Jadi ISPA tidak hanya

dipengaruhi oleh konsentrasi PM10, tapi juga dipengaruhi iklim.

PM10, Iklim, dan ISPA

Salah satu faktor yang mempengaruhi konsentrasi PM10 adalah faktor iklim seperti curah hujan (CH), kelembaban (RH), kecepatan dan arah angin, radiasi, dan suhu. Pada penelitian ini faktor iklim yang dianalisis adalah curah hujan dan kelembaban. PM10 memiliki korelasi negatif dengan curah hujan, yaitu sebesar -0.234. Nilai tersebut menunjukkan hubungan antara keduanya berbanding terbalik, saat curah hujan tinggi maka konsentrasi PM10 akan rendah (Gambar 2). PM10 dengan kelembaban menunjukkan korelasi negatif juga yaitu sebesar -0.133. Nilai tersebut menunjukkan bahwa saat kelembaban tinggi maka konsentrasi PM10 akan rendah. Kelembaban yang tinggi menyebabkan banyak menangkap partikulat yang ditangkap oleh uap air.

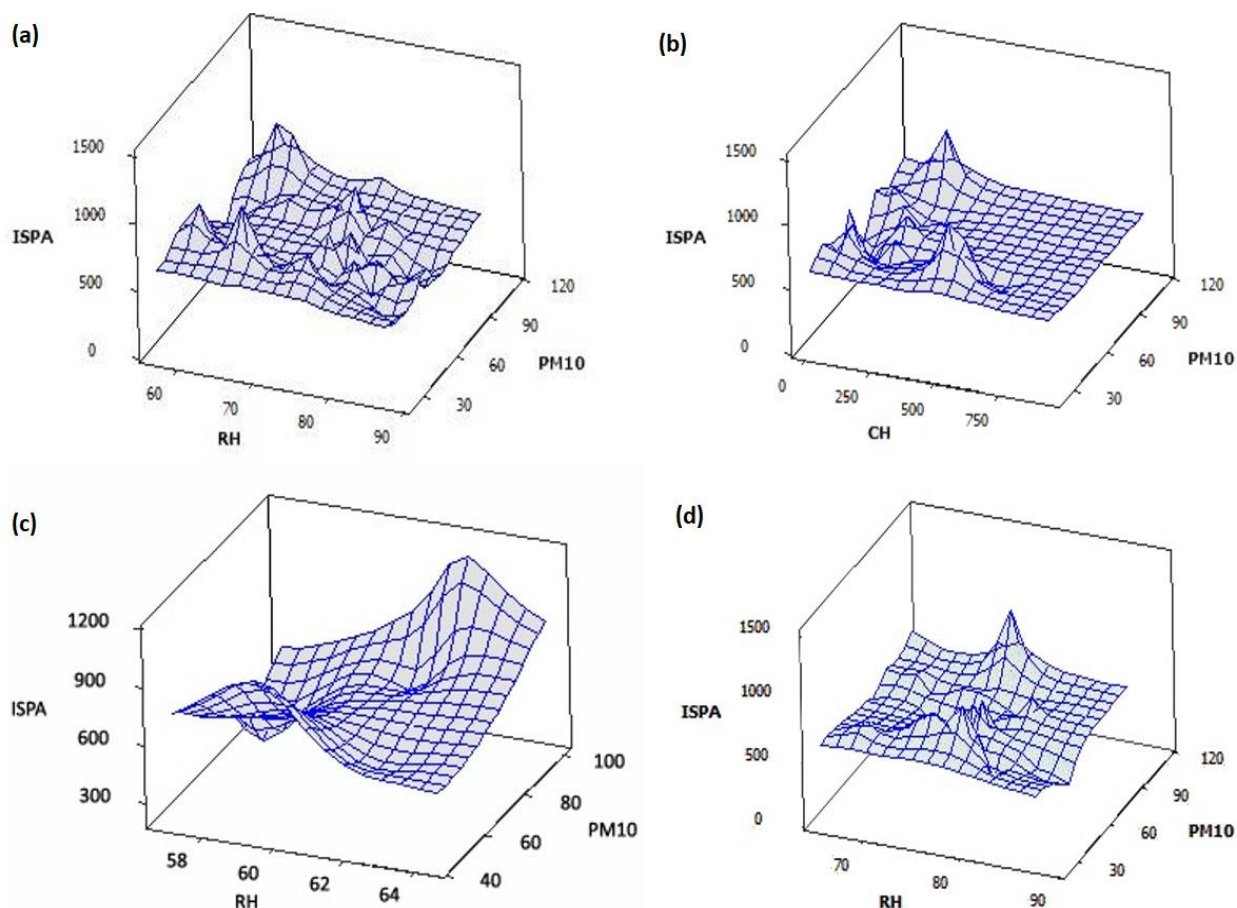


Gambar 4 Hubungan antara rata-rata konsentrasi PM10 dengan kasus ISPA

Berdasarkan hasil analisis 3D *surface plot*, saat kelembaban udara (RH) rendah dan konsentrasi PM10 tinggi, kasus ISPA di Jakarta Barat cukup tinggi. Pada saat kondisi lain, ketika kelembaban (RH) tinggi dan konsentrasi PM10 rendah, kasus ISPA rendah (Gambar 5a). Berdasarkan 3D *surface plot* tersebut terlihat bahwa pengaruhnya tidak linier.

Pengaruh curah hujan hampir sama dengan pengaruh RH, saat curah hujan rendah dan konsentrasi PM10 tinggi, kasus ISPA akan tinggi (Gambar 5b) dan pada kondisi curah hujan > 200 mm pengaruh PM10 tak terlihat nyata. Pada curah hujan < 200 mm dan konsentrasi PM10 tinggi terlihat ada pengaruh pada peningkatan jumlah kasus ISPA. Kondisi tersebut menunjukkan adanya pengaruh PM10, CH, dan RH

terhadap kasus ISPA di Jakarta Barat. Pada kondisi RH $\pm 65\%$, PM10 berpengaruh kuat terhadap kasus ISPA jika konsentrasi PM10 tinggi (Gambar 5c dan 5d). Pada kondisi RH kurang dari 60%, meskipun konsentrasi PM10 rendah, kasus ISPA juga akan tinggi, karena pada kondisi RH rendah dapat menyebabkan lemahnya kinerja membran mukosa sehingga mudah terjadi infeksi pada saluran pernapasan. Kasus ISPA tidak hanya dipengaruhi oleh unsur iklim dan partikulat saja. Faktor lain yang menyebabkan kasus ISPA antara lain virus dan bakteri, lingkungan fisik rumah. Kebiasaan dalam keluarga, seperti merokok juga dapat mempengaruhi kejadian ISPA (Rachmawati, 2013), juga status gizi balita dan ketahanan tubuh.



Gambar 5 3D *surface-plot* (a) RH, PM10 dan ISPA; (b) CH, PM10 dan ISPA; (c) RH (<65%), PM10 dan ISPA; (d) RH (>65%), PM10, dan ISPA.

KESIMPULAN

Pola konsentrasi diurnal PM10 tertinggi di Jakarta Barat terjadi pada akhir malam hari. Pada pukul 06.00 pagi konsentrasi PM10 mencapai nilai minimum (sekunder), setelah itu konsentrasi PM10 meningkat lagi bersamaan dengan padatnya lalu lintas pada periode keberangkatan kerja dan sekolah.

Rataan konsentrasi PM10 pada pola musiman tertinggi adalah saat musim kemarau (JJA) yaitu $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan terendah saat musim hujan (DJF) yaitu $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi PM10 memiliki korelasi terhadap kasus ISPA pada batasan kondisi cuaca tertentu. Pada saat kelembaban relatif rendah kurang dari 65%, dan terutama jika konsentrasi PM10 tinggi, kasus ISPA di Jakarta Barat akan tinggi. Pada kondisi RH tinggi dan konsentrasi PM10 rendah, kasus ISPA rendah, bentuk pengaruhnya tidak linier. Pengaruh curah hujan hampir sama dengan pengaruh RH, saat curah hujan rendah dan konsentrasi PM10 tinggi, kasus ISPA akan tinggi. Pada kondisi curah hujan tinggi > 200 mm pengaruh PM10 tak terlihat nyata.

Kasus ISPA meningkat pada musim hujan karena pada musim ini kelembaban meningkat dan radiasi matahari rendah sehingga patogen penyebab ISPA mudah berkembangbiak. Pada musim kemarau,

meskipun PM10 tinggi tetapi jumlah kasus ISPA lebih rendah dibandingkan dengan musim hujan, karena pada tahun kajian ini curah hujan musim kemarau masih tinggi yaitu sekitar 200 mm dan pada umumnya RH di musim kemarau tidak terlalu rendah sehingga membran mukosa masih memungkinkan untuk bekerja efektif menyaring PM10 yang terhisap pada proses pernafasan (> 60%).

DAFTAR PUSTAKA

- Beelen, R., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z.J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Wolf, K., Samoli, E., Fischer, P., Nieuwenhuijsen, M., Vineis, P., Xun, W.W., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Oudin, A., Forsberg, B., Modig, L., Havulinna, A.S., Lanki, T., Turunen, A., Oftedal, B., Nystad, W., Nafstad, P., De Faire, U., Pedersen, N.L., Östenson, C.-G., Fratiglioni, L., Penell, J., Korek, M., Pershagen, G., Eriksen, K.T., Overvad, K., Ellermann, T., Eeftens, M., Peeters, P.H., Meliefste, K., Wang, M., Bueno-de-Mesquita, B., Sugiri, D., Krämer, U., Heinrich, J., de Hoogh, K., Key, T., Peters, A., Hampel, R., Concin, H., Nagel, G., Ineichen, A., Schaffner, E., Probst-Hensch, N., Künzli, N., Schindler, C., Schikowski, T., Adam, M.,

- Phuleria, H., Vilier, A., Clavel-Chapelon, F., Declercq, C., Grioni, S., Krogh, V., Tsai, M.-Y., Ricceri, F., Sacerdote, C., Galassi, C., Migliore, E., Ranzi, A., Cesaroni, G., Badaloni, C., Forastiere, F., Tamayo, I., Amiano, P., Dorronsoro, M., Katsoulis, M., Trichopoulou, A., Brunekreef, B., Hoek, G., 2014. Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet* 383, 785–795. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)62158-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62158-3)
- Bennett, N.D., Croke, B.F.W., Guariso, G., Guillaume, J.H.A., Hamilton, S.H., Jakeman, A.J., Marsili-Libelli, S., Newham, L.T.H., Norton, J.P., Perrin, C., Pierce, S.A., Robson, B., Seppelt, R., Voinov, A.A., Fath, B.D., Andreassian, V., 2013. Characterising performance of environmental models. *Environmental Modelling & Software* 40, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.09.011>
- BPS, 2015. Jakarta Barat dalam Angka Tahun 2015. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Cai, Y., Schikowski, T., Adam, M., Buschka, A., Carsin, A.-E., Jacquemin, B., Marcon, A., Sanchez, M., Vierkötter, A., Al-Kanaani, Z., Beelen, R., Birk, M., Brunekreef, B., Cirach, M., Clavel-Chapelon, F., Declercq, C., de Hoogh, K., de Nazelle, A., Ducret-Stich, R.E., Valeria Ferretti, V., Forsberg, B., Gerbase, M.W., Hardy, R., Heinrich, J., Hoek, G., Jarvis, D., Keidel, D., Kuh, D., Nieuwenhuijsen, M.J., Ragettli, M.S., Ranzi, A., Rochat, T., Schindler, C., Sugiri, D., Temam, S., Tsai, M.-Y., Varraso, R., Kauffmann, F., Krämer, U., Sunyer, J., Künzli, N., Probst-Hensch, N., Hansell, A.L., 2014. Cross-sectional associations between air pollution and chronic bronchitis: an ESCAPE meta-analysis across five cohorts. *Thorax* 69, 1005. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-204352>
- Chafe, Z.A., Brauer, M., Klimont, Z., Dingenen, R., Mehta, S., Rao, S., Riahi, K., Dentener, F., Smith, K., 2014. Household Cooking with Solid Fuels Contributes to Ambient PM2.5 Air Pollution and the Burden of Disease. *Environmental Health Perspectives* 122, 1314–1320.
- Chauhan, A.J., Johnston, S.L., 2003. Air pollution and infection in respiratory illness. *British Medical Bulletin* 68, 95–112. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg022>
- Chen, X., Zhang, Li-wen, Huang, J., Song, F., Zhang, Luo-ping, Qian, Z., Trevathan, E., Mao, H., Han, B., Vaughn, M., Chen, K., Liu, Y., Chen, J., Zhao, B., Jiang, G., Gu, Q., Bai, Z., Dong, G., Tang, N., 2016. Long-term exposure to urban air pollution and lung cancer mortality: A 12-year cohort study in Northern China. *Science of The Total Environment* 571, 855–861. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.064>
- Chu, H.-J., Huang, B., Lin, C.-Y., 2015. Modeling the spatio-temporal heterogeneity in the PM10-PM2.5 relationship. *Atmospheric Environment* 102, 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.062>
- de Gois, J.S., Almeida, T.S., Alves, J.C., Araujo, R.G.O., Borges, D.L.G., 2016. Assessment of the Halogen Content of Brazilian Inhalable Particulate Matter (PM10) Using High Resolution Molecular Absorption Spectrometry and Electrothermal Vaporization Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, with Direct Solid Sample Analysis. *Environ. Sci. Technol.* 50, 3031–3038. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01934>
- Hamra, G.B., Guha, N., Cohen, A., Laden, F., Raaschou-Nielsen, O., Samet, J.M., Vineis, P., Forastiere, F., Saldiva, P., Yorifuji, T., Loomis, D., 2014. Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives* 122, 906–911. <https://doi.org/10.1289/ehp/1408092>
- Hrdličková, Z., Michálek, J., Kolář, M., Veselý, V., 2008. Identification of factors affecting air pollution by dust aerosol PM10 in Brno City, Czech Republic. *Atmospheric Environment* 42, 8661–8673. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.08.017>
- Hua, S., Tian, H., Wang, K., Zhu, C., Gao, J., Ma, Y., Xue, Y., Wang, Y., Duan, S., Zhou, J., 2016. Atmospheric emission inventory of hazardous air pollutants from China's cement plants: Temporal trends, spatial variation characteristics and scenario projections. *Atmospheric Environment* 128, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.056>
- Huboyo, H., Sutrisno, E., 2009. Analisis Konsentrasi Particulate Matter 10 (PM10) pada Udara di Luar Ruang (Studi Kasus: Stasiun Tawang – Semarang). *TEKNIK* 30, 44–48.
- Kumar, A., Patil, R.S., Dikshit, A.K., Islam, S., Kumar, R., 2016. Evaluation of control strategies for industrial air pollution sources using American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model with simulated meteorology by Weather Research and Forecasting Model. *Journal of Cleaner Production* 116, 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.079>
- Lai, K. man, Emberlin, J., Colbeck, I., 2009. Outdoor environments and human pathogens in air. *Environmental Health* 8, S15. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-S1-S15>
- Lang, J., Cheng, S., Zhou, Y., Zhang, Y., Wang, G., 2014. Air pollutant emissions from on-road vehicles in

- China, 1999–2011. *Science of The Total Environment* 496, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.021>
- Liu, J., Mauzerall, D.L., Chen, Q., Zhang, Q., Song, Y., Peng, W., Klimont, Z., Qiu, X., Zhang, S., Hu, M., Lin, W., Smith, K.R., Zhu, T., 2016. Air pollutant emissions from Chinese households: A major and underappreciated ambient pollution source. *Proc Natl Acad Sci USA* 113, 7756. <https://doi.org/10.1073/pnas.1604537113>
- Mészáros, D., Markos, J., FitzGerald, D.G., Walters, E.H., Wood-Baker, R., 2015. An observational study of PM₁₀ and hospital admissions for acute exacerbations of chronic respiratory disease in Tasmania, Australia 1992–2002. *BMJ Open Resp Res* 2. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2014-000063>
- Ouyang, W., Guo, B., Cai, G., Li, Q., Han, S., Liu, B., Liu, X., 2015. The washing effect of precipitation on particulate matter and the pollution dynamics of rainwater in downtown Beijing. *Science of The Total Environment* 505, 306–314. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.062>
- Pohan, N., 2004. Masalah pencemaran udara dan partikel-partikel.
- Pope, D., Diaz, E., Smith-Sivertsen, T., Lie, R.T., Bakke, P., Balmes, J.R., Smith, K., Bruce, N.G., 2015. Exposure to Household Air Pollution from Wood Combustion and Association with Respiratory Symptoms and Lung Function in Nonsmoking Women: Results from the RESPIRE Trial, Guatemala. *Environmental Health Perspectives* 123, 285–292. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408200>
- Rachmawati, D., 2013. FAKTOR RISIKO YANG BERHUBUNGAN DENGAN KEJADIAN PNEUMONIA PADA BALITA UMUR 12 - 48 BULAN DI WILAYAH KERJAPUSKESMAS MIJEN KOTA SEMARANG. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 2.
- Reşitoğlu, İ.A., Altinişik, K., Keskin, A., 2015. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy* 17, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0793-9>
- Satsangi, P.G., Yadav, S., Pipal, A.S., Kumbhar, N., 2014. Characteristics of trace metals in fine (PM_{2.5}) and inhalable (PM₁₀) particles and its health risk assessment along with in-silico approach in indoor environment of India. *Atmospheric Environment* 92, 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.047>
- Singh, S., Gupta, G.P., Kumar, B., Kulshrestha, U.C., 2014. Comparative study of indoor air pollution using traditional and improved cooking stoves in rural households of Northern India. *Energy for Sustainable Development* 19, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.01.007>
- Soleiman, N., Tarumingkeng, R., 2008. MODEL SISTEM DINAMIS UNTUK ESTIMASI PENCEMARAN UDARA DARI EMISI KENDARAAN BERMOTOR DI JAKARTA. *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi* 9, 1–10.
- Sukar, Athena, A., Hananto, M., Zahra, 2006. Dampak Perubahan Musim Terhadap Kadar Debu PM₁₀ Lokasi Transportasi, Industry, dan Permukiman. *Jurnal Ekologi Kesehatan* 5, 432–437.
- Sumaryati, 2011. Polusi Udara di Kawasan Cekungan Bandung. *Berita Dirgantara* 12, 83–89.
- Tiwari, Suresh, Hopke, P.K., Pipal, A.S., Srivastava, A.K., Bisht, D.S., Tiwari, Shani, Singh, A.K., Soni, V.K., Attri, S.D., 2015. Intra-urban variability of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and its relationship with optical properties of aerosols over Delhi, India. *Atmospheric Research* 166, 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.07.007>
- Vandini, S., Corvaglia, L., Alessandrini, R., Aquilano, G., Marsico, C., Spinelli, M., Lanari, M., Faldella, G., 2013. Respiratory syncytial virus infection in infants and correlation with meteorological factors and air pollutants. *Italian Journal of Pediatrics* 39, 1. <https://doi.org/10.1186/1824-7288-39-1>
- Wagner, P., Schäfer, K., 2017. Influence of mixing layer height on air pollutant concentrations in an urban street canyon. *Urban Climate* 22, 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.11.001>
- Wang, J.M., Jeong, C.-H., Zimmerman, N., Healy, R.M., Wang, D.K., Ke, F., Evans, G.J., 2015. Plume-based analysis of vehicle fleet air pollutant emissions and the contribution from high emitters. *Atmospheric Measurement Techniques* 8, 3263–3275. <https://doi.org/10.5194/amt-8-3263-2015>
- Yu, K., D’Odorico, P., Bhattachan, A., Okin, G.S., Evan, A.T., 2015. Dust-rainfall feedback in West African Sahel. *Geophysical Research Letters* 42, 7563–7571. <https://doi.org/10.1002/2015GL065533>
- Yun, Y., Gao, R., Yue, H., Li, G., Zhu, N., Sang, N., 2015. Synergistic effects of particulate matter (PM₁₀) and SO₂ on human non-small cell lung cancer A549 via ROS-mediated NF-κB activation. *Journal of Environmental Sciences* 31, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.041>
- Yusnabeti, Wulandari, R., Luciana, R., 2010. PM₁₀ dan Infeksi Saluran Pernapasan Akut pada Pekerja Industri Mebel. *MAKARA KESEHATAN* 14, 25–30.

- Zhang, S., Worrell, E., Crijns-Graus, W., 2015. Evaluating co-benefits of energy efficiency and air pollution abatement in China's cement industry. *Applied Energy* 147, 192–213. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.081>